

# PERUBAHAN SIFAT TERMAL TANAH PASIRAN AKIBAT PENAMBAHAN LIMBAH ORGANIK

(THERMAL PROPERTIES CHANGES OF SANDY SOIL  
AS INFLUENCED BY ORGANIC WASTE)

Muhjiddin Mawardi<sup>1)</sup>

## ABSTRACT

*Mass and heat transfer in a soil is much governed by its thermal properties. A laboratory experimentation has been done to investigate changes of thermal properties of sandy soil as influenced by organic waste mixed in the soil and the effect of the changes on soil moisture retention and evaporation.*

*The samples of sandy soil is mixed with selected organic waste (i.e: sludge of leather industry, sludge of tapioca industry and composted green manure). The treated soil are then placed in PVC tubes, saturated with water and placed in greenhouse for measuring changes in soil properties during 50 days.*

*Result of the experimentation shows that the organic waste mixed with sandy soil could significantly change its volumetric heat capacity and thermal regimes. The changes significantly affect the rate and amount of soil moisture loss through evaporation. During 50 days, the treated soil has lost 35 % of their soil moisture content. While the untreated (control) soil has lost 75 % of its soil moisture content.*

**Key words :** Sandy soil, thermal regimes, organic matter and soil moisture loss.

## PENDAHULUAN

Tanah pasiran mempunyai sifat-sifat kurang menguntungkan untuk usaha tani, antara lain karena strukturnya lepas, kandungan bahan organik rendah, sangat porous, laju evaporasinya tinggi dan rendah kemampuannya untuk menyimpan lengas.

Upaya untuk menekan laju evaporasi dengan merubah atau memanipulasi permukaan tanah seperti menutup permukaan tanah dengan mulsa, plastik, gravel dan lain sebagainya sudah banyak dipraktekkan. Akan tetapi upaya untuk merubah sifat thermal tanah dengan menambahkan bahan pengkondisi masih jarang dilakukan. Salah satu bahan pengkondisi tanah yang diduga akan bisa memberikan pengaruh positif terhadap sifat-sifat tanah pasiran adalah limbah industri pertanian yang kandungan bahan organiknya tinggi.

Kajian tentang perubahan beberapa sifat fisik tanah akibat penambahan bahan pengkondisi tanah telah banyak dilakukan antara lain oleh Hillel (1972, Gupta et.al (1977), Kumar et.al (1984, El Aswad (1985), Mawardi (1991) dan Mawardi (1999). Sebagian besar kajian tersebut bertujuan untuk mengetahui perubahan salah satu atau dua sifat fisik tanah akibat penambahan bahan pengkondisi tanah tertentu, serta pengaruhnya terhadap kemandapan agregat dan erodibilitas tanah. Sedangkan kajian khusus untuk mengetahui perubahan sifat thermal tanah sebagai akibat dari penambahan bahan organik yang berasal dari limbah pertanian atau industri pertanian belum banyak dilakukan. Disamping itu, bahan pengkondisi yang digunakan oleh

sebagian besar peneliti tersebut merupakan bahan sintesis yang relatif sulit diperoleh di negara kita. Sementara itu banyak limbah pertanian yang belum dimanfaatkan, padahal beberapa limbah tersebut kandungan bahan organiknya cukup tinggi dan tidak bersifat racun bagi tanaman. Hal ini berarti pula bahwa bahan limbah tersebut disamping mempunyai potensi sebagai bahan pengkondisi tanah, juga bisa memperbaiki agregasi dan kandungan bahan organik tanah pasiran.

Beberapa sifat fisik tanah yakni kapasitas volumetrik bahang ( $C_v$ ), konduktifitas termal ( $K_t$ ) dan difusifitas termal ( $D_t$ ) secara bersama oleh Hillel (1983) disebut sebagai sifat termal tanah. Ketiga sifat fisik tanah tersebut sangat berpengaruh terhadap transfer dan dinamika lengas dan bahang (*heat*) dari dan ke dalam tanah. Evaporasi yang merupakan proses transfer massa air dari dalam tanah ke atmosfer sangat dipengaruhi oleh faktor internal tanah terutama oleh ketiga sifat fisik tanah tersebut. Sedangkan faktor eksternalnya adalah pasok energi atau bahang ke permukaan tanah dan kedalam lapisan tanah serta kelembaban relatif di atas muka tanah (Hanks dan G.L. Archoft, 1983).

Kapasitas volumetrik bahang yang didefinisikan sebagai perubahan kandungan bahang dalam satu satuan volume tanah per satuan perubahan suhu dengan satuan kalori per sentimeter kubik-derajat celcius ( $\text{cal}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ) dapat ditentukan berdasarkan atas perbandingan volumetris partikel tanah, air dan udara:

$$C_v = \Sigma (f_s C_s + f_w C_w + f_a C_a) \quad \dots\dots\dots(1)$$

di mana  $C_s = \rho_s \cdot C_{ms}$ ;  $C_w = \rho_w \cdot C_{mw}$ ;  $C_a = \rho_a \cdot C_{ma}$ .

Untuk kepentingan praktis, rumus (1) dapat disederhanakan menjadi berikut :

$$C_v = f_m C_m + f_o C_o + f_w C_w \quad \dots\dots\dots(2)$$

di mana,  $f_m$  = fraksi volume mineral tanah  
 $f_o$  = fraksi volume bahan organik dan  
 $f_w$  = fraksi volume lengas (air) dalam tanah  
 $C_m, C_o$  dan  $C_w$  = masing-masing adalah kapasitas bahang fraksi mineral, bahan organik dan air.

Hanks R.J dan G.L Ashcroft (1980) mengemukakan hubungan empirik antara kapasitas bahang ( $C_v$ ) dengan kebasahan volumetris dan berat volume tanah dalam bentuk :

$$C_v = 0.2 \cdot \rho_b \text{ cal/g } ^\circ\text{C} + \theta_v \text{ cal/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C} \quad \dots\dots\dots(3)$$

dimana,  $\rho_b$  = bulk density atau berat volume tanah  
 $\theta_v$  = kebasahan volumetris tanah.

Konduktifitas termal didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bahang yang mengalir (transfer) melalui satu satuan luasan per satuan waktu dalam gradient suhu tertentu (Hillel, 1983). Jadi merupakan ukuran seberapa banyak bahang akan dialirkan melalui sebidang tanah dalam kondisi standard. Dengan demikian konduktifitas termal ini berbeda untuk jenis bahan tertentu dengan jenis bahan lainnya.

Hubungan antara difusifitas, konduktifitas dan kapasitas termal dapat dinyatakan:

$$D_t = K_t / C_v \dots\dots\dots(4)$$

di mana,  $D_t$  = difusifitas termal  
 $K_t$  = konduktifitas termal dan  
 $C_v$  = kapasitas volumetrik bahan

Laju kehilangan lengas melalui proses evaporasi merupakan komponen kehilangan air terbesar terutama di daerah yang beriklim tropis. Oleh karena itu upaya untuk pengurangan atau penekanan laju evaporasi terutama di lahan pasiran yang kapasitas penyimpanan lengasnya rendah menjadi sangat penting dalam kaitannya dengan penyediaan lengas bagi tanaman dan konservasi lengas.

Secara fisik, proses evaporasi membutuhkan tiga kondisi (Hillel, 1983). Pertama, evaporasi akan terjadi jika terdapat pasok bahang (kalor) yang kontinyu untuk memenuhi kebutuhan bahang latent yakni sekitar 590 cal/gr agar air dengan suhu 15 °C dapat menguap. Bahang ini bisa berasal dari tubuh tanah yang bersangkutan, atau bisa berasal dari luar sistem tanah dalam bentuk radiasi atau adveksi energi. Kedua, tekanan uap air di atmosfer di atas sistem atau tubuh tanah harus lebih rendah daripada tekanan uap tubuh tanah (harus terdapat gradient tekanan uap air antara tubuh tanah dengan atmosfer), dan uap air harus diangkut keluar melalui proses difusi atau konveksi atau keduanya. Kedua kondisi tersebut merupakan faktor eksternal yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan radiasi yang secara bersamaan menghasilkan apa yang oleh Hillel (1983) disebut sebagai *atmospheric evaporativity*. Kondisi yang ketiga adalah tersedianya pasok air yang kontinue dari atau melalui bagian tubuh tanah. Kondisi ini tergantung pada kandungan dan potensial air dalam tubuh tanah yang menghasilkan laju maksimal, pada laju mana tubuh tanah bisa men "transmisi" air ke bagian permukaan evaporasi. Dengan demikian evaporasi dari permukaan tanah (terbuka) ditentukan oleh evaporativitas eksternal serta kemampuan tubuh tanah itu sendiri untuk mentransfer atau membawa lengas ke permukaan evaporasi.

Flux (laju) evaporasi dari permukaan tanah dapat dimodifikasi dengan tiga cara: (1) mengatur pasok energi ke lokasi evaporasi (dengan modifikasi albedo melalui pemberian warna atau naungan atau perubahan struktur tanah dengan pengolahan tanah), (2) mengurangi gradient potensial atau *driving force* gerakan lengas ke permukaan tanah dan (3) penurunan konduktifitas atau difusifitas profil tanah dengan pengolahan tanah atau pemberian mulsa di atas permukaan tanah (Hillel, 1983).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat thermal tanah pasiran akibat penambahan limbah organik, serta pengaruhnya terhadap jumlah dan laju evaporasi yang terjadi. Limbah organik yang digunakan

sebagai bahan pengkondisi tanah adalah : 1) limbah pabrik tapioka, 2) limbah (*sludge*) pabrik kulit dan 3) pupuk kompos.

Hasil penelitian diharapkan bisa menambah pemahaman atas sifat-sifat fisik tanah pasiran yang bisa direkayasa melalui perlakuan. Pemahaman ini diharapkan dapat memperkaya khasanah pengetahuan tentang materi tanah sebagai sumberdaya alam dimana makhluk hidup sangat tergantung padanya. Pemahaman terhadap sifat-sifat fisik tanah yang bisa direkayasa ini dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan rekayasa tanah dan iklim mikro baik untuk kepentingan konservasi air, pertanian maupun pengendalian lingkungan.

## METODE PENELITIAN

Objek kajian dalam penelitian ini adalah perubahan sifat-sifat thermal tanah pasiran yang diambil dari daerah pantai Samas, Kabupaten Bantul DIY. Penelitian ini bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium dan rumah kaca. Contoh tanah yang diambil dari lapangan setelah dikering anginkan kemudian dianalisis untuk menentukan kelas tekstur, kandungan bahan organik, porositas, berat volume, berat jenis dan sifat-sifat fisika dan kimia lainnya. Tanah kemudian disaring dengan ayakan Mesh-8 untuk mendapatkan butir tanah yang homogen. Contoh tanah kemudian dicampur dengan bahan pengkondisi dan ditempatkan di dalam tabung percobaan yang telah disiapkan. Tabung percobaan ini terbuat dari pipa PVC diameter 30 Cm dan tinggi 50 Cm, dinding tabung diberi isolasi dengan kain katun dan lapisan aluminium foil.

Tiga macam bahan pengkondisi yang dipilih adalah: 1) limbah pabrik tapioka, 2) limbah cair pabrik penyamakan kulit dan 3) kompos. Sebelum digunakan sebagai bahan pengkondisi terlebih dahulu dilakukan analisis untuk mengetahui kandungan bahan organik, unsur hara serta sifat fisik masing-masing bahan limbah tersebut. Adapun dosis penambahan limbah masing-masing adalah setara dengan 6 ton/ha.

Contoh tanah dalam tabung percobaan selanjutnya dijenuhkan dengan air, kemudian diletakkan didalam rumah kaca untuk pengamatan perubahan sifat-sifat fisiknya selama 50 hari. Pengukuran dilakukan terhadap suhu tanah pada permukaan dan setiap interval kedalaman 10 Cm, kadar air didalam tanah pada interval kedalaman 10 Cm serta cuaca lingkungan.

Analisis data pengamatan dilakukan untuk mengetahui perubahan kuantitatif resim thermal, konduktifitas, kapasitas dan difusifitas thermal tanah akibat perlakuan yang dikenakan. Nilai kapasitas volumetrik dihitung dari nilai porositas tanah dan kandungan bahan organik dalam contoh tanah. Difusifitas thermal dihitung berdasarkan perbandingan antara konduktifitas thermal ( $K_t$ ) dan kapasitas bahang ( $C_v$ ) Hasil pengamatan kadar air harian di dalam profil tanah selanjutnya digunakan untuk menentukan jumlah kehilangan air total, atau kehilangan air dari masing-masing lapisan sebagai fungsi waktu. Analisis perbandingan antar perlakuan dilakukan menggunakan analisis varian dan metoda grafis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Suhu dan resim termal tanah.

Hasil pengamatan suhu rerata harian dan suhu 2 x 24 jam pada berbagai kedalaman tanah tercantum pada Gambar 3.1 dan 3.2. Dari grafik suhu tanah harian tersebut menunjukkan bahwa suhu tanah pada berbagai kedalaman sangat fluktuatif terutama pada permukaan tanah. Pola profil suhu tanah masing-masing perlakuan ternyata menunjukkan kecenderungan yang mengikuti pola sinusoidal, sesuai dengan teori perubahan suhu harian sebagaimana dikemukakan oleh Hillel (1983). Hasil pengamatan tersebut juga menunjukkan bahwa suhu tanah sangat dipengaruhi oleh suhu atmosfer di atas permukaan tanah.

Terdapat kecenderungan pada semua perlakuan bahwa suhu tanah lebih tinggi daripada suhu udara di atas permukaan tanah baik siang maupun malam hari. Hal ini disebabkan karena transfer bahang dari radiasi matahari ke dalam tanah disimpan oleh tanah dan sebagian besar digunakan untuk menaikkan suhu tanah, dan sebagian yang lain digunakan untuk merubah fase cair lengas tanah menjadi fase gas (uap) hingga terjadi proses evaporasi dari muka tanah. Karena transfer energi ini berlangsung terus menerus selama selama 7- 9 jam, maka bahang yang disimpan oleh tanah cukup besar. Bahang inilah yang menyebabkan kenaikan suhu tanah. Proses ini bisa dianalogkan dengan proses pemanasan bahang atau penjerangan air. Suhu bahang atau air yang dipanasi terus menerus selama beberapa jam akan menjadi lebih tinggi daripada suhu udara sekitarnya, bahkan bisa mencapai 100 °C pada tekanan udara 1 atmosfer.

Jika pengamatan suhu tersebut dibandingkan antar perlakuan, walaupun kecenderungannya sama, ternyata bahwa pada tanah yang tanpa perlakuan, suhu pada kedalaman 0 - 15 Cm menunjukkan kecenderungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang mengalami perlakuan. Dengan kata lain perlakuan memberikan efek atau pengaruh bisa menekan atau menurunkan suhu tanah. Memang pengaruh penambahan bahan pengkondisi terhadap penurunan suhu tanah ini tidak terlalu nyata, terutama bila dibandingkan dengan pengaruh pemberian mulsa di permukaan tanah (Greb et al, 1970). Hal ini disebabkan karena mulsa yang diletakkan di atas permukaan tanah bisa secara langsung menghalangi transfer energi dari atmosfer ke tanah sehingga fluktuasi suhu tanah tak terlalu tinggi. Sebaliknya mulsa juga bisa mengurangi transmisi lengas ke atmosfer sehingga evaporasi bisa ditekan. Upaya pengendalian suhu tanah dengan menambahkan mulsa pada permukaan tanah telah banyak dilakukan oleh petani, terutama untuk menciptakan suhu dan kelembaban tanah yang kondusif untuk perkecambahan tanaman.

Aliran (*flux*) bahang dari bawah ke permukaan tanah akan maksimum pada siang hari (antara Jam 09:00 - 16:00). Hal ini bisa ditandai dari perbedaan suhu yang cukup besar antara permukaan tanah dengan lapisan dibawahnya. Puncak suhu terjadi justru pada lepas tengah hari (Jam: 13.<sup>00</sup> - 14.<sup>00</sup>) dan kemudian terjadi penurunan suhu secara tajam lagi. Fenomena tersebut dapat dijelaskan menggunakan asas kesetimbangan energi berikut:

$$R_n = E + H + G \dots\dots\dots(5)$$

$R_n$  = radiasi netto, w/m<sup>2</sup>

$E$  = laju bahang untuk penguapan, w/m<sup>2</sup>

$H$  = laju bahang sensible, w/m<sup>2</sup>

$G$  = laju energi bebas Gibbs, w/m<sup>2</sup>

Energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan tanah ( $R_n$ ) akan dipergunakan terlebih dahulu untuk merubah massa lengas cair menjadi uap ( $E$ ), kemudian untuk merubah parameter  $H$  dan  $G$ . Laju bahang untuk penguapan merupakan hasil kali laju evaporasi (gr/m<sup>2</sup>-jam) dengan bahang laten (*latent heat*) penguapan untuk setiap jumlah air yang diuapkan (kalori/gram). Bahang laten memberikan arti bahwa bahang tersebut diperlukan untuk merubah massa air cair menjadi uap air tanpa menaikkan suhu air yang bersangkutan. Sedangkan bahang sensibel ( $H$ ) adalah bahang yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan, dalam hal ini tanah. Sesuai dengan radiasi netto yang diterima yakni = 187.49 w/m<sup>2</sup> dan besarnya  $E_p$  = 63.67 w/m<sup>2</sup>, maka setelah sebagian energi digunakan untuk proses penguapan, masih terdapat cukup energi untuk menaikkan  $H$  dan  $G$ . Dengan demikian maka suhu di permukaan tanah pada siang hari akan naik lebih tinggi daripada lapisan dibawahnya. Hal ini berarti gradient suhu antara permukaan tanah dengan lapisan dibawahnya cukup besar sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1 dan 3.2. Selanjutnya jika persamaan flux bahang (Hillel, 1983):

$$Q_t = K_t \cdot dT/dz \dots\dots\dots(6)$$

digunakan untuk membahas fenomena tersebut, maka menjadi semakin jelas dari persamaan diatas bahwa gradien suhu yang besar antar lapisan tanah akan mengakibatkan aliran bahang yang besar pula. Dengan kata lain aliran bahang akan sebanding dengan perkalian antara gradien suhu dan konduktifitas thermal bahan yang bersangkutan. Dalam hal ini, parameter  $dT/dz$  merupakan gaya dorong (*driving force*) untuk terjadinya aliran bahang. Sedangkan konduktifitas thermal bahan merupakan konduktor aliran. Jadi pada siang hari dimana gradien suhu antar lapisan cukup besar, aliran bahangnya juga relatif lebih besar daripada malam hari. Hal ini juga tidak terlepas dari adanya pasok energi melalui radiasi netto ( $R_n$ ) pada siang hari. Pada malam hari, nilai  $R_n$  ini hampir mendekati nol (tak ada radiasi). Dengan intensitas radiasi yang rendah, maka amplitudo suhu di permukaan tanah dan di lapisan di bawahnya juga rendah. Baru mulai sekitar jam 08.<sup>00</sup> pagihari berikutnya, suhu tanah akan mengalami kenaikan sebanding dengan besarnya radiasi matahari.

Secara teoritis, konduktifitas termal tanah dipengaruhi oleh porositas tanah, berat volume, kandungan bahan organik dan kandungan lengasnya. Oleh karena jenis tanah yang digunakan dalam percobaan ini sama yakni tanah pasiran dengan tekstur dan struktur yang homogen sepanjang lapisan tanahnya, maka faktor utama yang berpengaruh terhadap konduktifitas thermal tanah adalah kandungan lengasnya. Makin tinggi kandungan airnya, makin rendah konduktifitas termalnya. Lapisan tanah yang lebih atas kandungan lengasnya relatif lebih rendah daripada lapisan dibawahnya. Oleh karena itu maka terjadi proses pemanasan lebih cepat dibandingkan dengan lapisan

dibawahnya. Hal ini bisa dilihat dari grafik suhu harian selama 24 jam. Puncak suhu di lapisan di bawah permukaan akan terjadi sekitar satu atau dua jam kemudian setelah terjadinya puncak suhu di permukaan tanah (Gambar 3.3 dan 3.4). Penundaan (*delay*) ini sebagai akibat dari perbedaan konduktifitas termal yang dipengaruhi oleh kelembapan tanah sebagaimana telah disebutkan di muka.

Hasil perhitungan parameter sifat termal tanah tersebut menunjukkan bahwa beberapa sifat termal tanah pasir setelah perlakuan mengalami perubahan, walaupun perbedaan antar perlakuan tak begitu nyata. Kapasitas termal (*Cv*) tertinggi terjadi pada tanah pasir yang diberi tambahan limbah tapioka yakni 0.27 Cal/Cm<sup>3</sup> °K, berturut-

turut kemudian pada tanah yang tanpa perlakuan, dan tanah yang diberi tambahan kompos. Demikian pula halnya nilai difusifitas termalnya, yang tertinggi juga pada tanah yang diberi tambahan limbah tapioka yakni 0.189 Cm/dtk, kemudian tanah pasir yang ditambah limbah kulit 0.133 Cm/dtk dan yang terendah adalah tanah pasir yang tanpa perlakuan yakni 0.108 Cm/dtk. Transfer bahang (*Qh*) yang tertinggi juga terjadi pada tanah pasir yang ditambah limbah tapioka yakni 4.59 cal/cm<sup>2</sup>, kemudian berturut-turut sebesar 2.53 cal/cm<sup>2</sup>, 2.52 cal/cm<sup>2</sup> dan 0.77 cal/cm<sup>2</sup> pada tanah pasir tanpa perlakuan, tanah pasir ditambah kompos dan tanah pasir ditambah limbah kulit.

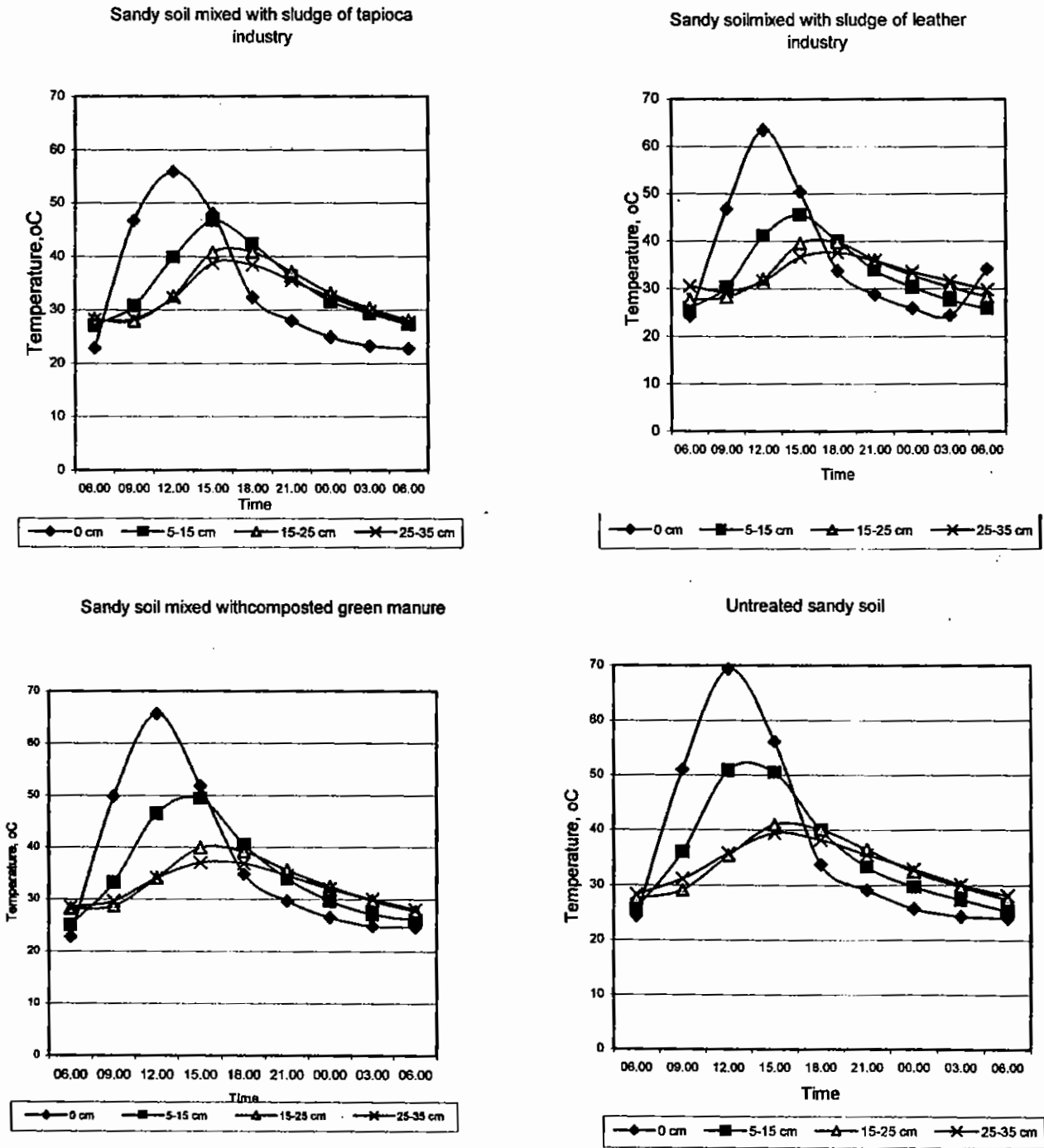


Figure 3.1. Temperature profile of four different soil treatments

Jika fluk bahang dan suhu tersebut dikaitkan dengan kehilangan lengas yang dikandung oleh masing-masing tanah, maka nilai kehilangan lengas terbesar terjadi pada tanah pasir yang tanpa perlakuan dan kemudian diikuti oleh tanah pasir yang ditambah limbah tapioka. Dengan kata

lain, kehilangan lengas pada tanah sebanding dengan suhu dan fluk bahang yang terjadi pada tanah yang bersangkutan. Makin tinggi suhu tanah akan makin besar fluk bahang yang terjadi, dan makin besar jumlah lengas yang hilang melalui evaporasi.

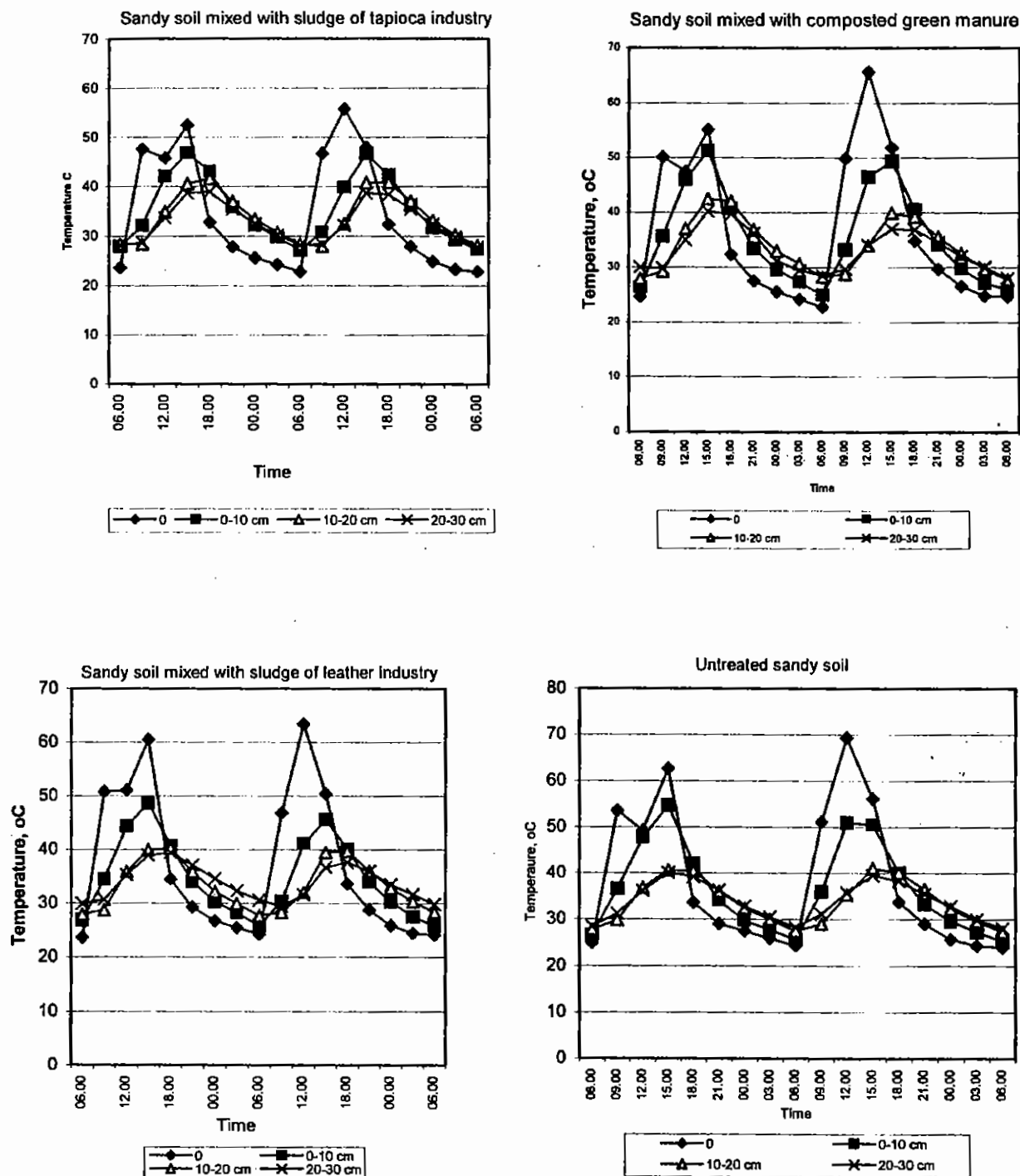


Figure 3.2. Temperature profile (°C) for 2 X 24 hours of sandy soil mixed with some different organic waste.

## 2. Perubahan Kadar Lengas Tanah

Laju kehilangan lengas melalui evaporasi menunjukkan kecenderungan yang sama untuk semua perlakuan, yakni cukup tinggi pada hari-hari awal percobaan, kemudian berangsur turun dan kemudian konstant pada pertengahan hingga akhir percobaan (Gambar 3.3). Laju kehilangan lengas yang tinggi pada hari-hari awal percobaan diduga karena pasok atau cadangan lengas dalam profil tanah masih cukup besar, sedangkan pada hari-hari pertengahan (setelah hari ke 20) lengas yang disimpan oleh tanah sudah mulai berkurang, sehingga laju evaporasinya pun menjadi berkurang. Dengan perkataan lain, penurunan laju kehilangan lengas tanah melalui evaporasi ini bukan karena terjadinya penurunan faktor evaporatif dari atmosfer, akan tetapi karena memang lengas yang akan diuapkan sudah mulai berkurang, dan tidak ada lagi pasok lengas dari bawah permukaan tanah. Dengan demikian proses yang terjadi sebenarnya adalah proses evaporasi tanpa pasok air, atau sama dengan proses pengeringan. Oleh karena itulah maka kurva kehilangan airnya mengikuti pola kurva pengeringan yang eksponensial sebagaimana terlihat pada Gambar 3.3.

Hasil pengamatan perubahan kadar lengas ini juga menunjukkan pula tentang kemampuan tanah menyimpan atau menahan lengas. Kemampuan paling rendah terjadi pada tanah pasiran yang tak mengalami perlakuan, yakni 16 % (massa) pada kondisi jenuh. Sedangkan kemampuan menyimpan lengas tertinggi terjadi pada tanah pasiran yang dicampur dengan kompos, yakni 35 % (massa) pada kondisi jenuh, kemudian berturut-turut, tanah yang dicampur dengan limbah kulit (25 % massa) dan tanah yang dicampur limbah tapioka (20 % massa). Nilai kapasitas penyimpanan lengas pada kondisi jenuh ini secara teoritis akan sama dengan nilai porositas tanahnya. Hasil pengamatan ini memberikan petunjuk bahwa penambahan limbah organik dapat meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air, sekaligus dapat menekan laju kehilangan lengas melalui evaporasi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu, bahwa penambahan bahan organik kedalam tanah pasiran dapat meningkatkan daya simpan lengas tanah yang bersangkutan (Mawardi, 1991 dan Mawardi, 1999).

Selama 50 hari, tanah pasiran (kontrol) telah kehilangan lengas sebesar 12 % (massa) atau setara dengan 75 % dari jumlah lengas yang mampu disimpannya. Sedangkan kehilangan lengas terkecil terjadi pada tanah yang dicampur dengan kompos, yakni sebesar 15 % (massa) atau setara dengan 50 % dari lengas yang disimpan. Berdasarkan atas hasil percobaan ini, maka dapat disimpulkan bahwa salah satu sifat fisik tanah pasiran yakni kemampuan tanah menyimpan lengas, ternyata dapat direayasa/ dimanipulasi dengan penambahan limbah yang kandungan bahan organiknya tinggi. Dalam hal ini kompos ternyata bisa memberikan pengaruh yang paling baik jika ditambahkan pada tanah pasir, terutama untuk memperkecil laju kehilangan lengas.

Selanjutnya dari profil kehilangan lengas (pengeringan) tersebut dapat pula dijelaskan bahwa kehilangan lengas total tidak sama untuk masing-masing lapisan. Kehilangan lengas total terbanyak terjadi pada kedalaman 30 Cm di bawah permukaan tanah, bukan pada kedalaman 0-10 Cm dari permukaan, walaupun pada lapisan atas laju kehilangannya (mm/hari) tertinggi. Hal ini memberikan petunjuk bahwa pada masing-masing profil tanah telah terjadi proses redistribusi atau translokasi lengas pasca penjumlahan sebagai respon terhadap kehilangan lengas melalui evaporasi. Hal ini sejalan dengan teori yang telah dikemukakan oleh Hillel (1980), akan tetapi translokasi ini hanya terjadi kearah vertikal.

Sebagaimana dimuka telah disebutkan bahwa proses yang terjadi sebenarnya adalah proses pengeringan (*drying*). Dalam hal ini Gardner dan Hillel (1966) mengemukakan suatu persamaan empiris untuk prediksi evaporasi pada tahap laju menurun (*falling rate*), dan dalam keadaan tak ada pasok air tanah :

$$e = dW/dt = D(\theta) W \Pi^2/4 L \dots\dots\dots (7)$$

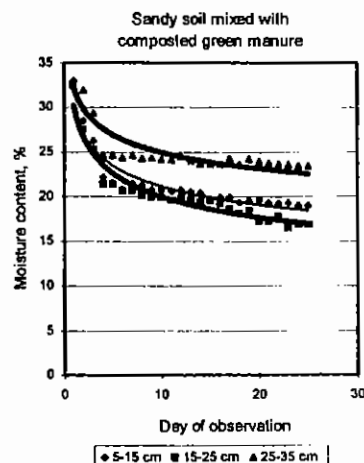
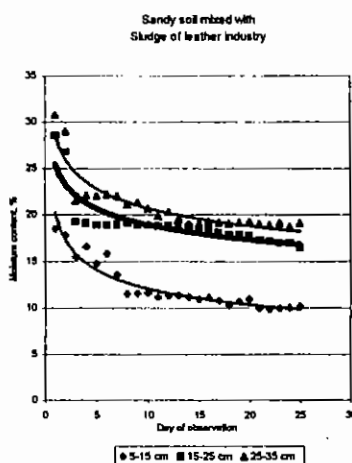
W = kadar air total

D(θ) = difusifitas tanah sebagai fungsi kebasahan

L = front basah

Evaporasi kumulatif dapat dihitung dengan mengintegralkan persamaan (7) terhadap waktu.

Dengan menggunakan persamaan di atas, dapat dijelaskan bahwa laju kehilangan





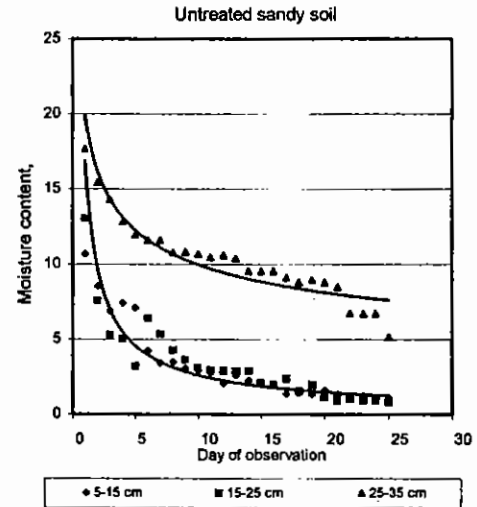
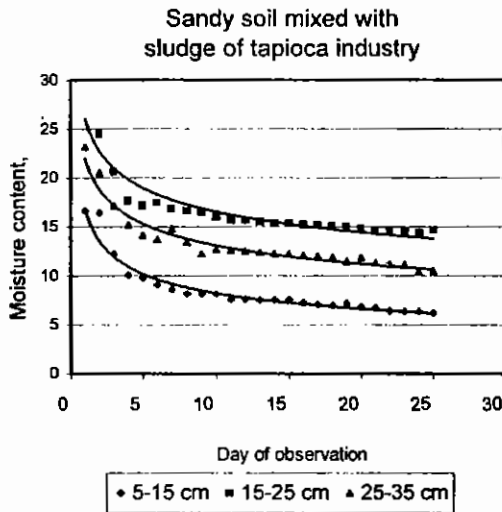


Figure 3.3. Soil moisture loss curve (drying curve) of different soil treatments and depth

lengas karena evaporasi sangat dipengaruhi oleh difusifitas hidrolis tanah dan kebasahan atau kadar lengas dan front basah tanah yang bersangkutan. Front basah merupakan tebal lapisan yang mengandung lengas yang dicadangkan untuk evaporasi.

### 3. Konduktifitas dan difusifitas termal tanah.

Terdapat hubungan empirik yang tak dapat dipisahkan antara konduktifitas ( $K_t$ ), difusifitas ( $D_t$ ) dan kapasitas termal ( $C_t$ ) tanah. Hubungan ini dinyatakan dalam :

$$D_t = K_t / C_t \text{ atau } K_t = C_t \cdot D_t \quad \dots\dots\dots(8)$$

dengan kata lain, perubahan salah satu atau dua variabel akan berpengaruh terhadap nilai variabel lainnya. Difusifitas dipengaruhi oleh konduktifitas termal dan kapasitas termal tanah yang bersangkutan. Dalam hal ini, front pengeringan (*drying front*) ditunjukkan dari grafik hubungan antara kebasahan atau kadar lengas dengan kedalaman lapisan tanah. Pada hari-hari awal, kadar air pada profil tanah yang bersangkutan seragam (sama untuk semua lapisan). Pada hari berikutnya setelah terjadi proses pengeringan, kadar air di lapisan permukaan lebih kecil dibandingkan dengan kadar air di lapisan dibawahnya, hingga mencapai kadar air minimum yang masih bisa ditahan oleh tanah (Hillel, 1983). Bentuk kurva pengeringan ini pada awal proses cenderung cembung, akan tetapi kemudian berbentuk cekung pada tanah lapisan atas. Perubahan bentuk ini menurut Hillel (1983) disebabkan karena pengaruh difusifitas hidrolis tanah yang dipengaruhi oleh kebasahan tanah. Sebagaimana telah disebutkan di muka bahwa difusifitas hidraulik tanah akan turun secara eksponensial akibat penurunan kebasahan volumetris tanah. Dengan kata lain, nilai difusifitas hidrolis tanah turun, apabila terjadi penurunan kadar air, dan pola penurunannya berbentuk eksponensial. Namun demikian difusifitas uap dalam tanah yang bersangkutan akan naik pada saat tanah mengalami pengeringan. Thesis Hillel (1983) ini ternyata

memang sejalan dengan hasil percobaan yang fenomenanya ditunjukkan oleh Gambar 3.3.

Jika kurva pengeringan tersebut dibandingkan antar perlakuan, akan terlihat bahwa polanya cenderung sama, hanya berbeda dalam lajunya, yang ditunjukkan oleh kemiringan (slope) kurva pengeringan tersebut. Tanah pasir yang tak mengalami perlakuan (kontrol) mempunyai slope kurva pengeringan yang paling tajam. Hal ini menunjukkan bahwa laju kehilangan air pada tanah pasir relatif paling cepat bila dibandingkan dengan tanah yang telah mengalami perlakuan. Demikian pula total kehilangan airnya adalah yang terbesar. Total serta laju kehilangan air yang paling tinggi pada tanah pasir (kontrol) ini sudah pula dibahas dalam sub-bab sebelumnya. Untuk mengevaluasi secara kuantitatif proses pengeringan tanah pada tahap *falling rate*, harus menggunakan asumsi bahwa permukaan tanah berada dalam keadaan kering angin pada saat permulaan proses. Dengan asumsi ini maka persamaan satu dimensi proses difusi uap air bisa diberlakukan :

$$\partial \theta / \partial t = \partial / \partial z [ D(\theta) \partial \theta / \partial z ] \quad \dots\dots(9)$$

Untuk profil tanah yang seragam dengan tanpa memperhatikan efek termal dan gravitasi, persamaan tersebut diatas dapat diselesaikan menggunakan kondisi batas sebagai berikut :

$$\theta = \theta_i ; \quad z \geq 0 ; \quad t = 0$$

$$\theta = \theta_r ; \quad z = 0 ; \quad t > 0$$

dalam kondisi batas tersebut, persamaan aliran lengas satu dimensi dapat disederhanakan menggunakan transformasi Boltzman (Hillel, 1983), yang mengandung variabel penggabungan ruang dan waktu yang merubah persamaan diferensial tersebut menjadi persamaan deferensial orde ke I. Variabel penggabungannya adalah :  $B = z \cdot t^{-1/2}$ , sehingga diperoleh persamaan :

$$d\theta / dB = - 2/B \cdot d/dB [ D(\theta) \cdot d\theta / dB ] , \quad \dots\dots\dots(10)$$

di mana B merupakan variabel tak terpengaruh (*independent*). Kedua persamaan tersebut (9 dan 10)

menjelaskan bahwa perubahan kebasahan (kadar lengas) sebagai fungsi waktu atau proses pengeringan merupakan proses difusi lengas dari lapisan di bawahnya menuju ke lapisan di atasnya hingga ke permukaan evaporasi. Dalam proses ini kadar lengas antara lapisan yang satu dengan lapisan yang lainnya tak sama, akan tetapi lapisan yang paling atas pada umumnya akan mengalami pengeringan terlebih dahulu baru kemudian lapisan dibawahnya. Proses ini sebenarnya mempunyai pola yang sama dengan proses pembasahan profil tanah akan tetapi dalam arah yang kebalikannya. Oleh karena itu dalam proses pengeringan ini juga terjadi efek histerisis sebagaimana pada proses pembasahan.

Hasil analisis difusifitas dan konduktifitas termal tanah untuk berbagai perlakuan menunjukkan perbedaan yang tak signifikan. Tertinggi terjadi pada perlakuan penambahan limbah tapioka dengan nilai difusifitas termal =  $0.189 \text{ cm}^2/\text{dt}$  dan konduktifitas termal =  $0.0509 \text{ Cal/cm/dt-}^\circ\text{K}$ . Nilai difusifitas termal tanah ini dipengaruhi nilai konduktifitas (Kt) dan kapasitas bahang (Cv). Padahal kapasitas bahang ini merupakan fungsi kandungan bahan organik dalam tanah. Dengan demikian maka difusifitas termal ini banyak dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat dibuat dari penelitian ini adalah :

1. Penambahan limbah organik yang berupa kompos, limbah pabrik kulit dan limbah pabrik tapioka ternyata bisa merubah beberapa sifat thermal tanah terutama resim thermal tanah dan kapasitas (volumetrik) bahang (Cv). Perubahan resim thermal tanah ini terlihat dari penurunan fluktuasi suhu tanah harian pada kedalaman 15-30 Cm dari muka tanah. Sedangkan perubahan konduktifitas dan difusifitas thermal akibat perlakuan penambahan limbah organik tidak signifikan.
2. Terjadi pengurangan laju evaporasi harian serta total volume lengas yang hilang dari profil tanah. Kehilangan lengas total maupun laju kehilangan lengas (mm/hari) yang terjadi pada tanah yang tak mengalami perlakuan (kontrol) adalah yang tertinggi, kemudian diikuti dengan tanah yang dicampur dengan limbah tapioka. Selama 50 hari, tanah pasiran (kontrol) telah kehilangan lengas sebesar 12 %(massa) atau setara dengan 75 % dari jumlah lengas yang mampu disimpannya. Sedangkan kehilangan lengas terkecil terjadi pada tanah yang dicampur dengan kompos, yakni sebesar 15 %(massa) atau setara dengan 25 % dari lengas yang disimpan.

Saran dari hasil penelitian ini :

1. Hasil penelitian ini mengisyaratkan bahwa beberapa sifat thermal tanah terutama resim thermal dan kemampuan tanah menyimpan lengas dapat direayasa melalui penambahan bahan pengkondisi tanah yang berupa limbah pertanian yang kandungan bahan organiknya tinggi.

2. Masih perlu dilakukan kajian ulang dan untuk jenis limbah yang lain, agar bisa diketahui bahan limbah yang paling baik dan murah yang bisa digunakan sebagai bahan pengkondisi perbaikan sifat fisik tanah pasiran.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Lembaga Penelitian UGM dan Direktorat P3M Ditjen Dikti yang telah memfasilitasi penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih pula kepada Sdr. Ika Arie.S, mahasiswa FTP UGM yang telah membantu penulis dalam pengumpulan dan analisis data.

## DAFTAR PUSTAKA

- El-Aswad R.M dan P.H Groenvelt, 1985. Hydrophysical Modification and its Effect on Evaporation. J. ASAE No. 28(6) : p :1927-1932.
- Greb, B.W,D.E Smika dan A.L. Black, 1970. Water Conservation with Stable Mulch. Journal of Soil Conservation No.25 : 58-62.
- Gupta, S.C, R.H Dowdy dan W.E Larson, 1977. Hydraulic and Thermal Properties of Sandy Soil as Influenced by Incorporation of Sewage Sludges. Soil Science Society of American Journal, No, 41: 601-605.
- Hadas, A dan M.Fuchs, 1973. Prediction of the Thermal Regime of Bare Soil. In : Physical Aspect of Soil Water and Salts in Ecosystem. Springer-Verlag. Berlin and New York.
- Hartman, R.H dan M. de Boodt, 1983. Alternation of Hydrophysical Properties of Soil by Soil Conditioners and its Relation to Water Conservation. Postepow nauk Rolniezich No.220: 35-42.
- Hillel, D, 1983. Fundamental of Soil Physics. Academic Press Inc. New York.
- Hillel, D. 1984. Application of Soil Physics. Academic Press Inc. New York.
- Kumar, S, R.S Malik dan IS. Daiya, 1984. Water Retention, Transmission and Contact Characteristic of Sand as Influenced by Farmyard Manure. Aust. Journal of Soil Research, No.22: 253-259.
- Mawardi, M, 1991. Kemungkinan Pemanfaatan Blothong untuk Menaikkan Daya Simpan Lengas pada Tanah Pasiraan. Laporan Penelitian, Lemlit-UGM. 1991.
- Mawardi, M, 1999. Perubahan Sifat Hidrofisik Tanah Pasiran akibat Penambahan Bahan Organik. Laporan Penelitian, Lemlit-UGM. 1999.
- Unger, P.W dan B.A Stewart, 11974. Feedlot Waste Effect on Soil Conditions and Water Evaporation. Soil Scince Society of American Proceeding. No. 35: 954-957.